

IXe Congrès international de Sédimentologie , Nice 1975

Diagenèse de sédiments carbonatés sous des conditions "hypersalines":  
quartzine, célestine, fluorine dans les calcaires du Trias moyen des  
Préalpes médianes (domaine briançonnais, Suisse occidentale).

par Aymon BAUD, Conservateur, Musée géologique, Palais de Rumine,  
CH-1005 Lausanne , Suisse.

Introduction.

Ces dernières années, plusieurs articles ont paru sur le mode de gisement, l'origine et la signification dans les roches carbonatées de chacun de ces minéraux non carbonatés(1). Les calcaires du Trias moyen des Préalpes médianes nous offrent l'occasion d'étudier ces trois minéraux, découverts récemment, au travers de plusieurs types d'évolutions diagénétiques différentes. Nous avons retenu trois exemples, le premier à Saint-Triphon, les deux autres au Rothorn (fig. 1), qui illustreront l'influence de conditions de dépôt et de diagenèse variées sur l'apparition de ces minéraux. Nous montrons qu'il existe dans chaque cas au moins une phase avec forte minéralisation des eaux d'imbibition (phase "hypersaline").

Durant le Trias moyen, trois cycles importants, transgressifs - régressifs, constituant chacun une formation (fig. 2), se succèdent sur la plateforme briançonnaise(2) à laquelle se rattachent les klippes de la partie radicale des Préalpes médianes(3). Chaque formation est elle-même subdivisée en membres ou mégaséquences qui débutent par des calcaires infratidaux peu profonds et se terminent par des dolomies et pélites inter- à supratidales (série rythmée). Durant le Jurassique inférieur et moyen, cette plateforme carbonatée est émergée en partie et plus ou moins érodée et karstifiée(4). Soumis à des conditions marines jusqu'à l'Eocène moyen, les restes disloqués de cette plateforme triasique suivront durant l'orogénèse alpine le gros de la masse des Préalpes médianes jusque dans la zone externe des Alpes nord-occidentales.

- 
- (1) -Pour la quartzine, cf. FOLK R. & SIEDLECKA A. (1974), *Sedimentary Geol.*, 11/1, 1-15; JACKA A.D. (1974), *J. Sed. Pet.*, 44/2, 421-427;  
-pour la célestine, cf. SCHMIDT V. (1965), *S.E.P.M. spec. Publ.* 13, 152-153; WEST I. (1973), *J. Sed. Pet.* 43/1, 278-279;  
-pour la fluorine, cf. KRUGER P. (1962), *Bergakademie*, 11, 743-750;  
-pour la célestine et la fluorine, voir aussi les traités de STRAKHOV N.M. (1958), *Méthodes d'étude des roches sédimentaires*, Ann. Serv. inform. Géol. du BRGM, 35, Vol. 2, 379-380, et de FUCHTBAUER H. & MULLER G. (1970), *Sediment - Petrologie*, Vol. 2, 388-389, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- (2) BAUD A. & MEGARD-CALLI J. (1975), IXe Congrès Intern. Sedim., Nice, section 5.
- (3) BAUD A. (1972), *Eclogae Geol. Helv.*, 65/1, 43-55.
- (4) BAUD A. & MASSON H. (1975), *Eclogae Geol. Helv.*, 68/1.

Exemple 1: célestine et quartzine dans une séquence carbonatée de lagune.

Ce premier exemple est caractéristique d'une évolution diagénétique lente en milieu réducteur. Il provient de la partie supérieure, régressive de la Formation de Saint-Triphon (1 in fig. 2) dans la localité type (1 in fig. 1).

Lithologie: cette séquence carbonatée de lagune apparaît sous le faciès de "calcaires vermiculés", caractérisés par des pellicules argileuses ondulées et localement une intense bioturbation. Ces dépôts sombres, de faible énergie, sont parfois interrompus par des passées sableuses grano-classées interprétées comme des dépôts de tempêtes. Les échantillons à célestine et quartzine proviennent d'un niveau repère à brachiopodes lisses (*Coenothyris vulgaris* v. SCHLOT.). Le milieu de dépôt est un milieu lagunaire, à boue originellement aragonitique, riche en matière organique, colonisé par des brachiopodes qu'accompagnent des échinodermes (crinoïdes et ophiures), des mollusques (gastropodes et pélécytopodes), des éponges siliceuses (*Oxyhexactines*), des ostracodes et des foraminifères.

Pétrographie: l'échantillon choisi est un wackestone-packstone à brachiopodes et crinoïdes. La célestine peut apparaître soit sous forme de cristaux idiomorphes, parfois brisés comme le montre la fig. 3, soit sous forme de grandes plages xénomorphes remplaçant un ciment géopète de calcite claire dans les cavités internes des brachiopodes. La silice est présente sous forme de petits concrétionnements de quartzine rayonnante parfois accompagnés de quartz dans les tests de brachiopodes (fig. 5) et dans les ossicules de crinoïdes (fig. 4); dans cette dernière figure, nous remarquons que la quartzine a préservé le système de pores qui apparaît comme une grille faite d'inclusions carbonatées. Localement, des petits quartz idio- à hypidiomorphes sont aussi dispersés dans la pâte micritique.

Interprétation diagénétique: les transformations se sont déroulées en milieu phréatique marin; elles ont été relativement lentes à cause de la matière organique qui a joué un rôle inhibiteur. Concernant la célestine et la quartzine, nous envisageons une évolution en 4 phases:

- 1.-piégeage du Sr à partir de l'eau de mer dans le réseau cristallin de l'aragonite(5) composant la boue carbonatée originelle(6);
- 2.-transformation des carbonates métastables en calcite; mise en solution de Mg et Sr avec concentration locale dans les eaux d'imbibition; remplacement de l'opale des spicules d'éponges par de la calcite avec mise en solution de la silice;
- 3.-précipitation de célestine au contact de saumures riches en sulfate (circulation per descensum) avec croissance de cristaux idiomorphes; précipitation de quartzine dans les micro-milieus favorables, soit les tests de brachiopodes (fig. 5) et les articles de crinoïdes (fig. 4); croissance de rhomboédres de dolomite.

Ces trois premières phases se sont déroulées durant la diagenèse précoce (phase 1) et intermédiaire (phase 2 et 3). Une quatrième phase apparaît pendant la diagenèse d'enfouissement: une partie des cristaux de célestine et de dolomite sont dissous puis cimentés par de la calcite. La fig. 3 montre un cristal idiomorphe de célestine pris entre deux extrémités de tests de brachiopodes et brisé lors de la compaction; ses bordures ont en même temps été calcitisées. La célestine reprécipite localement dans les cavités internes des brachiopodes et dans les tests dissous de mollusques où elle remplace le ciment de calcite secondaire; elle obture également certaines fractures de tassement. Les phases plus tardives de la diagenèse n'ont eu ici qu'une influence limitée.

---

(5) KINSMAN D.J. (1969), J. Sed. Pet., 39/2, 486-508.

(6) VEIZER J. & TURAN J. (1971), Sedimentary Geol., 5/1, 5-22.

Exemple 2: fluorine, quartzine, calcédonite et quartz dans une séquence carbonatée complexe de barre sableuse.

Ce deuxième exemple montre une évolution diagénétique rapide sous des conditions de salinité variables (schizohalines)(7). Il provient de la partie supérieure du membre 4 de la Formation de Saint-Triphon (2, fig. 2) dans l'écaille du Rothorn (Préalpes bernoises, 2, fig. 1)(8).

Lithologie: cette séquence est constituée par 3 faciès principaux:

- grainstone à ooides et peloides formant les barres sableuses proprement dites, avec lits inclinés parfois jusqu'à 20°;
- wackestone de couleur sombre à bioclastes des zones protégées (lagunes);
- boundstone micritisé à éponges et algues calcaires (patch reef).

Un faciès de croûte "caliche" surmonte la barre sableuse supérieure; il consiste en une alternance de croûtes micritiques et de grainstone à ooides et oncoïdes entièrement recristallisés (altération vadose) avec granoclasement inverse de certains niveaux. La succession lithologique est donnée à la fig. 6.

Pétrographie: à l'échelle de l'affleurement nous observons une zonation des dépôts de fluorine et de silice concordante avec la stratification générale. Dans les grainstones inférieurs (a, fig. 6), des cristaux xénomorphes brunâtres de fluorine remplacent un ciment géopète de calcite géodique dans les grains dissous (fig. 6D). La silice est présente sous forme d'agrégats de quartz hypidiomorphes qui recourent les grains. La dolomite remplace de manière centrifuge les peloides et les ooides.

Dans les grainstones supérieurs (d, fig. 6), il existe un horizon très riche en silice sous forme de quartzine et surtout de quartz. Celui-ci remplace une partie des grains dissous de manière géopète: du microquartz (mq) remplace le sédiment résiduel calcitique intragranulaire tandis que la partie supérieure des grains est cimentée soit par du quartz géodique (dq), soit par de la quartzine géodique (dq, fig. 6C). Des agrégats de quartz, plus tardifs, recourent les grains.

Localement, au top de la croûte "caliche" (e, fig. 6), des cristaux idio- à hypidiomorphes de fluorine brunâtre apparaissent presque essentiellement dans les ooides (fig. 6B).

Au sommet des 2 niveaux lagunaires sombres (c et f, fig. 6), il existe conjointement des silex noirs ovoïdes centimétriques composés de calcédonite et de microquartz et des imprégnations de fluorine noire en cristaux hypidio- à xénomorphes avec bordures calcitisées (fig. 6A). De la fluorine secondaire incolore apparaît dans les fissures en remplacement de la calcite.

Interprétation diagénétique: durant le dépôt de cette séquence carbonatée complexe de barre sableuse, plusieurs périodes d'évolution en milieu vadose se sont succédées; elles ont eu pour conséquence des transformations rapides et importantes liées en particulier aux fluctuations du plan d'eau et à la présence d'eaux météoriques, soit:

- 1.-micritisation des petits récifs à éponges et algues calcaires avec transformation massive des carbonates métastables en calcite;

---

(7) FOLK R. & SIEDLECKA A. (1974), *Sedimentary Geol.*, 11/1, 1-15 .

(8) cette séquence a été décrite par l'auteur in ZANINETTI L., BRÖNNIMANN P. et BAUD A. (1972), *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.* Innsbruck, 21/2, 465-498 .

2.-apparition de phénomènes de dissolution et dégradation à différentes échelles, avec:

- formation de cavités centimétriques par dissolution;
- dégradation-recristallisation des oolides et oncoïdes dans la croûte "caliche";
- dissolution sélective des grains aragonitiques avec formation d'un dépôt résiduel intragranulaire;
- dépôt d'un sédiment interne gravifique dans certaines cavités.

Au voisinage et sous le plan d'eau (milieu phréatique) ont pris place des phénomènes de précipitation et cimentation.

A partir de l'eau de mer, une concentration primaire de fluor s'est faite dans le réseau de l'aragonite(9). Lors de la transformation massive de ce carbonate métastable, le fluor a été libéré; les spicules d'éponge siliceuses ont été calcitisés et la silice mise en solution. Dans leur mouvement descendant, les solutions minéralisées ont rencontré à la base du petit récif la boue lagunaire sombre riche en matière organique dans laquelle prévalaient des conditions fortement réductrices (piège géochimique); la fluorine et la calcédoine ont alors précipité. Un peu plus bas la fluorine précipite également dans les grains dégradés au top de la croûte "caliche" alors que la silice remplace et cimente massivement les grains dissous suivant un plan médian dans la barre sableuse supérieure(10). Dans la barre sableuse inférieure la fluorine va cimenter avec la calcite les cavités intragranulaires; plus tardivement la dolomite remplace sélectivement une partie des grains non dissous de manière centrifuge (monocristal de dolomite) et également le ciment de calcite géodique dans les grains dissous.

Lors de la diagenèse d'enfouissement une partie de la fluorine, de la silice et de la dolomite sont remises en solution. On trouve la fluorine secondaire avec la calcite et la dolomite dans certaines fentes et fissures tectoniques et le quartz en agrégats dispersés dans la roche.

Exemple 3: fluorine et célestine dans une séquence carbonatée de plateforme en milieu très restreint (plateforme barrée).

Ce 3ème exemple est typique d'une évolution diagénétique rapide influencée par des conditions évaporitiques. Il se situe dans la partie inférieure des calcaires rubanés (3, fig. 2) de l'écaille du Rothorn (3, fig. 1).

Lithologie: les calcaires rubanés (environ 300 m d'épaisseur) consistent en une succession de séquences ou rythmes régressifs se terminant chacun par des dolomies syngénétiques. La séquence choisie montre les faciès suivants, de bas en haut, sur 4 mètres:

- mudstone à rares ostracodes;
- packstone à galets plats, peloides et intraclastes;
- wackestone à intraclastes, rares débris de tests de mollusques (gastéropodes et pélécy-podes) et ostracodes;
- mudstone dolomitique.

---

(9) CARPENTER R. (1969), Geochim. Cosmochim. Acta, 33, 1153-1167.

(10) Cette évolution est très semblable à celle de la "Cretaceous beach Sequence" de Comanche (Texas) décrite par MOORE C.H.Jr & al. in 24th I.G.C., Montreal 1972, section 6, 124-136.

Tous ces faciès montrent de nombreuses taches millimétriques à centimétriques de calcite sparitique dues au remplacement de nodules et cristaux d'anhydrite.

Pétrographie: la célestine est présente sous forme d'agrégats millimétriques de petits cristaux xénomorphes (fig. 8), accompagnés généralement de calcite sparitique ou d'un carbonate orthorhombique (strontianite, calcistrontianite?). On la trouve aussi comme ciment dans des microfractures. La fluorine apparaît en cristaux isolés dans la pâte microsparitique; parfois elle remplace le ciment de calcite secondaire dans un test de pélécy-pode; elle remplace localement de grandes plages de calcite claire dans les pseudomorphoses de cristaux et nodules d'anhydrite (fig. 7); on la trouve également à côté de la calcite dans certaines fractures. La silice n'est présente que sporadiquement, sous forme de petits quartz xéno- à hypidiomorphes.

Interprétation diagénétique; deux hypothèses peuvent être envisagées:

- concentration directe de F et Sr dans des saumures résultant soit de l'évaporation de l'eau de mer sur place, soit de circulations latérales depuis des dépôts adjacents d'évaporite; précipitation de célestine et fluorine en même temps que l'anhydrite dans les boues et sables carbonatés (phase sulfatée)(11);
- piégeage de F et Sr dans le réseau de l'aragonite; précipitation d'anhydrite à partir de saumures denses dans les boues et sables aragonitiques; libération de F et Sr lors de la transformation de l'aragonite; précipitation locale de fluorine et célestine qui peut remplacer partiellement l'anhydrite.

Nous n'avons pas ici d'arguments en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses, mais il est possible que les deux processus soient intervenus simultanément. Durant la diagénèse intermédiaire, il y a eu une phase importante de dissolution de l'anhydrite avec cimentation ou remplacement par la calcite, la célestine, la fluorine et la dolomite; une partie de la célestine a été remplacée par la suite par la calcite ou la strontianite.

### Conclusions.

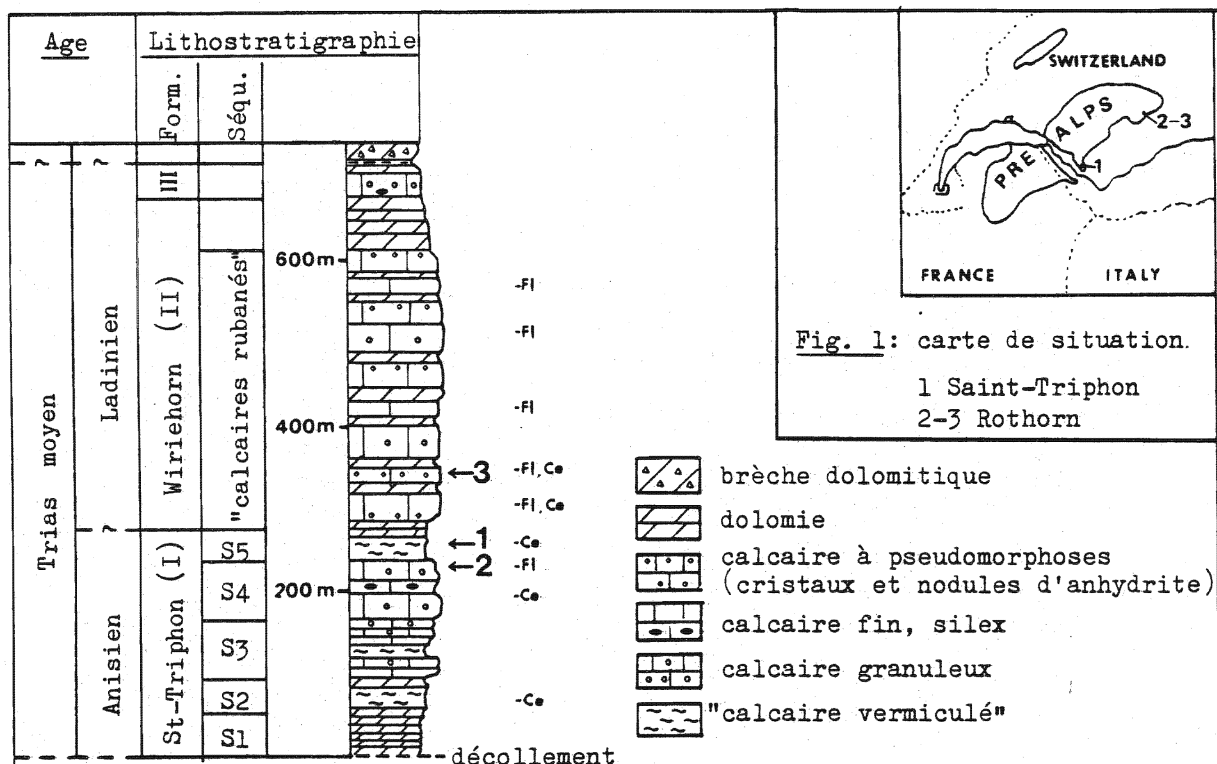
- 1.- La plateforme carbonatée briançonnaise du Trias moyen est constituée par des dépôts cycliques en eau très peu profonde qui vont d'un environnement de plateforme barrée à un environnement marin semi-ouvert.
- 2.- La quartzine, la célestine et la fluorine sont apparues lors des phases précoces de la diagénèse. Durant la diagénèse intermédiaire (enfouissement), il y a eu redistribution partielle de la célestine et la fluorine avec calcitisation, et recristallisation d'une partie de la quartzine en quartz.
- 3.- Des silicates authigènes sont présents dans les calcaires du Trias moyen et peuvent accompagner ces trois minéraux: l'albite, le feldspath potassique et la tourmaline(12); les minéraux argileux sont principalement l'illite et accessoirement la chlorite et un interstratifié montmorillonitique.

---

(11) Cette hypothèse est celle soutenue par N.M. STRAKHOV et l'école russe pour expliquer l'origine de la célestine et la fluorine dans les roches carbonatées.

(12) TOPKAYA M. (1950), Bull. Labo. Géol. Mineral. Géoph. et Musée Univ. Lausanne, 97 .

- 4.- La quartzine, la célestine et la fluorine ne sont caractéristiques ni d'un milieu de dépôt unique, ni d'une évolution diagénétique type. Cependant l'apparition de ces minéraux est influencée par le milieu de dépôt, en particulier la minéralogie originelle et la quantité de matière organique, et il existe durant l'évolution diagénétique au moins une phase avec forte minéralisation des eaux d'imbibition (phase "hypersaline") qui n'est pas nécessairement une phase sulfatée.
- 5.- Cette minéralisation est en grande partie le produit de la transformation des carbonates métastables et de la dissolution de la silice organique. Dans l'exemple 1, la transformation est lente et la concentration en fluor faible; on note la précipitation de célestine et de quartzine. Dans l'exemple 2, la transformation est rapide avec la présence d'eaux météoriques (environnement diagénétique "vigoureux"); il y a précipitation de fluorine, quartzine, calcédonite et quartz. Dans l'exemple 3, on note une importante phase sulfatée; les concentrations en strontium et fluor sont fortes, mais il n'y a que peu ou pas de silice organique: apparition de célestine et fluorine et accessoirement de quartz.



**Fig. 2:** coupe synthétique du Trias moyen des Préalpes médianes (domaine briançonnais); la position des exemples 1, 2 et 3 est indiquée ainsi que la répartition de la célestine (Ce) et la fluorine (Fl).

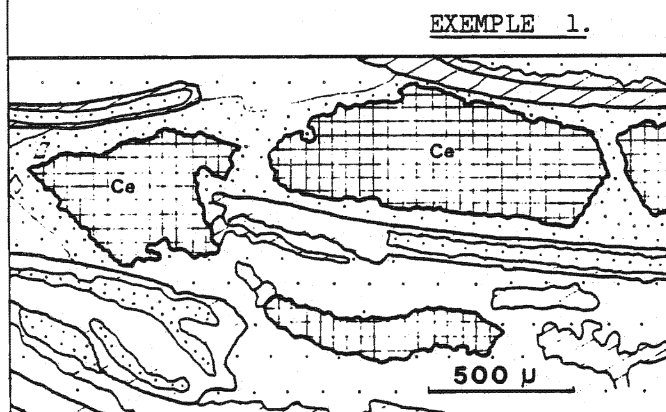
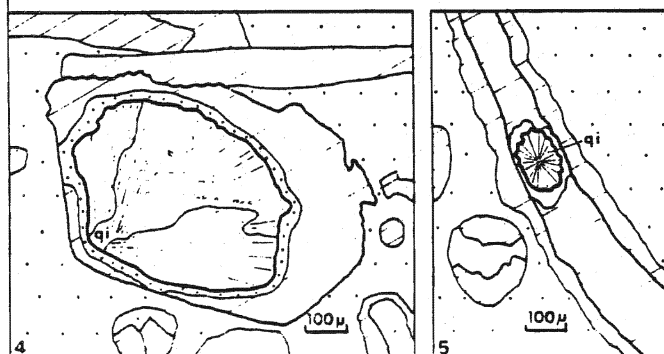
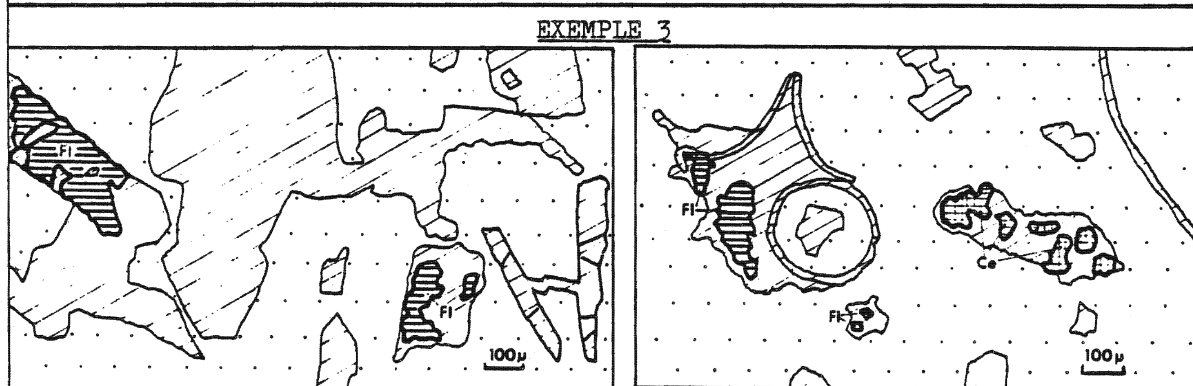
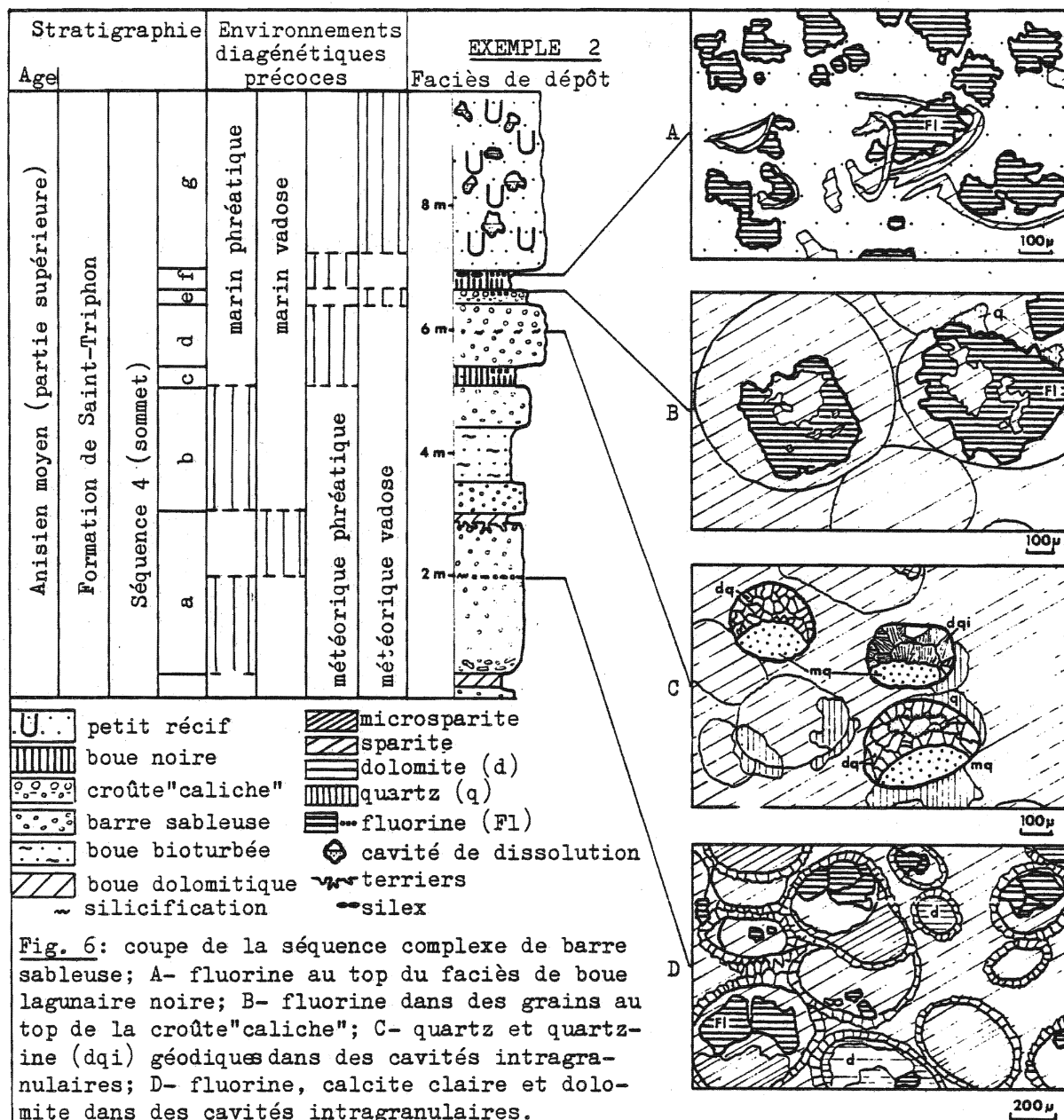


Fig. 3: wackestone à brachiopodes;  
cristal idiomorphe de célestine  
(Ce), avec bordures calcitisées,  
brisé en deux lors de la compac-  
tion; vers le bas, un cristal  
xénomorphe remplace une plage de  
calcite claire (traits obliques);  
(pointillé = micrite).



**Fig. 4:** wackestone à échinodermes et brachiopodes; quartzine rayonnante (qi) avec grille d'inclusions carbonatées (=pores) dans un article de crinoïde.

Fig. 5: sphérulite de quartzine rayonnante (qi) dans un test de brachiopode.



**Fig. 7:** fluorine (Fl) remplaçant la calcite dans des pseudomorphoses de cristaux et agrégats d'évaporites.

Fig. 8: fluorine (Fl) et célestine (Ce) dans des plages sparitiques de calcite et strontianite.